Resistenz von Desmidiaceen gegen Schwermetallsalze

Von Walter Url

(Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien)

Mit 8 Abbildungen auf 2 Tafeln

(Vorgelegt in der Sitzung am 18. Februar 1955)

Einleitung.

Die Verschiedenheiten pflanzlicher Plasmen beschreibend zu erfassen ist ein Hauptziel der vergleichenden Protoplasmatik (Höfler 1932). Als ein brauchbares Mittel zur Unterscheidung verschiedenartiger Plasmen oder verschiedener Plasmazustände hat sich in jüngerer Zeit die Prüfung der Resistenz pflanzlicher Plasmen gegen B, Zn, Mn, V und Cr erwiesen (Biebl 1947 a, b, 1949, 1950 a, b, Biebl und Rossi-Pillhofer 1954, Pribik 1947).

Diese Untersuchungen erbrachten z. B. die interessante Tatsache, daß Mooszellen eine um vieles höhere Schwermetallresistenz besitzen als Gewebszellen höherer Pflanzen.

Höflers grundlegende Arbeit über Plasmolyse mit Na_2CO_3 (1951) regte dazu an, auch Süßwasseralgen auf ihre Resistenz gegenüber Schwermetallsalzen zu untersuchen. Höfler zeigte, daß viele Desmidiaceen eine enorm hohe Resistenz gegenüber hypertonischen Sodalösungen besitzen und selbst tagelange Plasmolyse schadlos ertragen, eine Tatsache, die auf ein eine besonders starke Schutzfunktion ausübendes Plasmalemma zurückzuführen ist. Es war nun interessant, diese Algen auf ihre Resistenz gegenüber Schwermetallsalzen zu untersuchen. Vergleichend prüfte ich auch einige Zygnemalen und die Chlorophycee *Eremosphaera viridis*.

Material und Methodik.

Die zur Untersuchung verwendeten Desmidiaceen stammten aus den Tamsweger Mooren (vgl. Loub 1953, Loub, Url, Kiermayer, Diskus, Hilmbauer 1954) und wurden anfangs

August 1954 aufgesammelt. Das *Netrium*-Material war aus dem Wildmoos bei Mondsee (leg. cand. phil. Wolfgang A b e l), die Zygnemalen stammten aus der Umgebung Wiens.

Zum Resistenzversuch wurden die Desmidiaceen mit einer Pipette aus dem Kulturglas aufgesaugt und in kleine Röhrchen von 4 cm Höhe und 0,7 cm Durchmesser eingebracht und das Röhrchen mit der Schwermetallsalzlösung aufgefüllt. Das Algenmaterial war völlig detritusfrei, da nur solche Formen untersucht wurden, die sich auf den bekannten Türmchen sammelten (S t e i n e c k e 1926, K r e b s 1951, S. 583). Da die aus den Kulturgläsern aufgesaugte Flüssigkeit mit den Algen im Versuchsröhrchen nur maximal eine Höhe von 0,3 bis 0,4 cm erreichte, konnte die Verdünnung der zugesetzten Schwermetallsalzlösung vernachlässigt werden.

Die gefüllten Röhrchen wurden in einen mit Löchern versehenen Schachteldeckel gesteckt und dieser in eine feuchte Kammer gebracht, welche an einem nordseitigen Fenster aufgestellt wurde. Die Fadenalgen wurden in 30 cm^3 Opodeldok-Gläschen eingebracht, welche je etwa 20 cm^3 Lösung enthielten.

Die Ablesung der Versuche erfolgte nach jeweils 48 Stunden. Als Lebensreaktion wurde Plasmolyse in 1,0 mol Traubenzucker verwendet.

Folgende Schwermetalle (sämtlich als Sulfate) gelangten zur Verwendung:

$MnSO_4 + 4\,H_2O$ pro analysi	Merck
$CuSO_4 + 5\,H_2O$ pro analysi	Riedel-de Haen
$ZnSO_4 + 7\,H_2O$ pro analysi	Merck
$Cr_2(SO_4)_3$ + rund 9 H_2O [1]	nach Angabe der Heilmittelwerke Wien von Riedel-de Haen
$VOSO_4$ + rund 3,5 H_2O	Bayer-Leverkusen

Bei der Einwaage des Chromsulfats wurde berücksichtigt, daß das von mir verwendete Präparat 9 mol Kristallwasser enthielt, im Gegensatz zu dem von B i e b l und P r i b i k verwendeten Chromsulfat, das 6 mol Kristallwasser enthielt, so daß die Lösungen gleichen Chromgehalt hatten.

Das Vanadylsulfat war das gleiche, das B i e b l (1950 a) verwendete. Der Wassergehalt dieses Präparats wurde durch Trocknen bei 160° C ermittelt.

Die Abstufung der Lösungen war feiner, als sie bisher verwendet wurde. Zwischen die üblichen Konzentrationsstufen wurde je eine weitere gelegt. Folgende Stufen wurden angewendet: 0,00001%, 0,0001% 0,0005%, 0,001%, 0,005%, 0,01%, 0,05%,

[1] Der Chromgehalt des Präparats wurde nach Aufoxydieren zu Bichromat photometrisch bestimmt.

0,1%, 0,5%, 1%, 3 oder 5%, manchmal 10% und 20%. Die Resistenzgrenzen waren auch bei dieser feineren Abstufung sehr genau zu fassen.

Leider sind die verschieden prozentigen Lösungen bezüglich ihres Gehaltes an wirksamen Ionen untereinander nicht vergleichbar, weil ja bei der Einwaage nach Gewichtsprozenten weder die Atomgewichte noch der Kristallwassergehalt berücksichtigt werden. Der Vergleichbarkeit halber blieb ich bei den bisher angewendeten Lösungen, doch sind für künftige Resistenzuntersuchungen durchaus „isoionische“ Lösungen zu fordern, also solche, bei deren Herstellung Atomgewicht, Kristallwassergehalt und Anzahl der im Molekül vorhandenen Metallatome berücksichtigt wird. Wichtig wäre auch die Einbeziehung anderer Metalle, wobei von den verfügbaren Sulfaten noch an Nickel, Kadmium und Eisen zu denken ist.

Versuche.

Zu den Tabellen: In die Tabellen wurden neben den von mir untersuchten Spezies auch vorliegende Ergebnisse der Schwermetallresistenzforschung aufgenommen, um Vergleiche ziehen zu können. Insbesondere wurden die Werte aus der unveröffentlichten Dissertation von Pribik (1947) aufgenommen. In den Tabellen bezeichnet l = lebend, ± l = etwa die Hälfte lebend, ∓ l = mehr als die Hälfte tot, + = alles tot.

Von den verwendeten Zygnemalen waren: *Spirogyra* I — rund 195 μ lang und 30 μ breit, mit lockerem Band, *Spirogyra* II — 120 μ lang, 45 μ breit, mit dünnem Band, *Spirogyra* III — vielbändrig, 350 μ lang, 140 μ breit, *Spirogyra* IV — ein breites Band, 75 μ lang, 25 μ breit. *Zygnema* I — rund 75 μ lang, 40 μ breit, *Zygnema* II — 75 μ lang, 25 μ breit. *Mougeotia* — 215 μ lang, 28 μ breit.

Mangan.

Viele pflanzliche Plasmen zeichnen sich durch sehr hohe Resistenz gegen $MnSO_4$ aus. Die untersuchten Desmidiaceen blieben sämtlich in allen Konzentrationsstufen bis 20% lebend. Nur *Micrasterias rotata* ist in 20% teilweise tot, wohl aber auch nicht wegen der Giftwirkung des Mangans, sondern wegen überstarker Plasmolyse (22,3% $MnSO_4$ = 1 Mol!)[2]. Außerdem zeigt *Closterium lunula* eine „Todeszone“ im mittleren Konzentrationsbereich zwischen 0,01% und 3%, eine Erscheinung, wie sie schon an verschiedenen

[2] Bei Plasmen, die bis in hoch hypertonische Bereiche lebend bleiben, kann überhaupt von einer Resistenzgrenze im engeren Sinn nicht gesprochen werden. Stirbt solch eine Zelle ab, so ist hier der Grund wohl sicher mehr in der überstarken Plasmolyse zu suchen als in der Giftwirkung des Metalls auf das Plasma.

Objekten in abgestuften Lösungsreihen beobachtet worden war (vgl. Biebl und Rossi-Pillhofer 1954, S. 130, Iljin 1935) und bei Desmidiaceen auch in anderen Schwermetallsalzen zu finden ist. Diese Todeszonen liegen — wie auch Biebl und Rossi-Pillhofer für ihre Objekte betonen — im Gegensatz zu den Iljinschen Versuchen tief im hypotonischen Bereich.

Gegenüber Mangansulfat sind die Zygnemalen deutlich weniger resistent als die Desmidiaceen und sterben bei etwa 1%. Alle diese Werte sind aber als Charakteristikum für eine bestimmte Plasmaart nur mit großer Vorsicht aufzunehmen, da gerade beim Mangan sehr große Resistenzschwankungen innerhalb verschiedener Entwicklungsstadien nachgewiesen wurden. Die in der Tabelle 1 wiedergegebenen Werte aus Pribik zeigen, daß sehr viele Phanerogamenplasmen noch bei 3% $MnSO_4$ leben (wobei höhere Konzentrationen aber nicht untersucht wurden). Spätere Untersuchungen zeigten nämlich, daß Phanerogamenzellen in bestimmten Entwicklungsstadien ebenfalls Konzentrationen bis 20% ertragen können, wie z. B. *Cyclamen europaeum, Anemone hepatica, Hedera helix, Salvia pratensis, Ballota nigra* usw. (Biebl und Rossi-Pillhofer). In jenen Fällen, in denen auffallend niedere Resistenz gegen Mangansulfat beobachtet wurde, wird nachzuprüfen sein, ob es sich hier um eine konstant so niedrige Resistenz handelt oder ob — entsprechend den Versuchen von Biebl und Rossi-Pillhofer (1954) — ein resistenzvariables Plasma vorliegt, das wie z. B. bei *Cyclamen europaeum* im Lauf der Entwicklung Resistenzschwankungen gegen $MnSO_4$ von 0,01% bis 10% mitmachen kann.

Tafel 1, Fig. 1, zeigt Desmidiaceen, welche 48^h in 20% $MnSO_4$ plasmolysiert waren. Alle abgebildeten Arten leben noch (*Micrasterias rotata, Closterium lunula* und *Netrium digitus*)[3]. Entsprechend der sehr hohen Konzentration von fast 1 Mol sind die Plasmolysen sehr stark. (Die osmotischen Werte der betreffenden Spezies liegen durchschnittlich um 0,2—0,3 mol Traubenzucker [vgl. Krebs 1951].) Besonders beachtenswert ist *Closterium lunula.* Diese Alge ist in der zellphysiologischen Literatur als sehr empfindlich bekannt, so z. B. gegen Vitalfarbstoffe (Loub 1951); auch Sodabehandlung verträgt sie nicht (Höfler 1951). Tafel 1, Fig. 2 und 3, zeigen eine Zelle von *Micrasterias truncata* und eine in Teilung befindliche von *Tetmemorus granulatus,* ebenfalls in 20% Mangansulfat plasmolysiert. Beide Algen lebten und reagierten auf Wasserzusatz mit Deplasmolyse.

[3] Die Mikrophotographien wurden mit einer Exakta-Varex-Kleinbildkamera auf Adox-KB-14-Film gemacht.

Tabelle 1. Manganresistenz verschiedener Pflanzenzellen.

Einwirkungsdauer 48 Stunden. l = lebend; ±l = etwa die Hälfte lebend; ∓l = mehr als die Hälfte tot; + = alles tot.

$MnSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Lamium purpureum	21. 6.				+	±l		l		l		l		l	
Galeopsis tetrahit	21. 6.				+	±l	.	l		l		l		l	
Salvia pratensis	2. 6.				l	l		l		l		l		l	
Salvia nemorosa	14. 6.				l	l		l		l		l		l	
Salvia sclarea	9. 6.				l	l		l		l		l		l	
Salvia verticillata	30. 7.				l	l		l		l		l		l	
Ranunculus acer	2. 6.				l	l	.	l	.	l	.	l		l	
Paeonia officinalis	30. 6.				+	+	.	+	.	+	.	l		l	
Aquilegia vulgaris	5. 7.				l	l	.	l	.	l	.	l		l	
Anemone hepatica	17. 7.				+	+		+		±l	.	l		l	
Helleborus niger	17. 7.				+	+		+		+	.	l		l	
Taraxacum officinale	12. 5.				+	+		+		±l		l		l	
Calendula officinalis	11. 7.				+	+		+		+		l		l	
Galinsoga parviflora	7. 8.				+	+		+		+	.	l		l	
Artemisia vulgaris	23. 8.				+	+	.	+	.	l		l		l	
Colchicum autumnale	17. 4.				+	l	.	l	.	l	.	l		l	
Convallaria majalis	28. 4.				+	+		+		±l		l	.	l	
Lilium candidum	5. 5.				+	+		+		+		±l		l	
Tulipa Gesneriana	5. 5.				+	+		+		+		+	.	l	
Oxalis stricta	19. 5.				+	+		+		+		l		l	
Oxalis acetosella	11. 7.				+	+		+		+		l		l	
Tropaeolum majus	11. 7.				+	+	.	+	.	+	.	l		l	
Polygonum aviculare	23. 8.				l	l	.	l		l		l		l	
Rheum Rhabarbarum	30. 4.				+			l		l		l		l	
Rumex acetosa	9. 6.				+	±l	.	l		l		l		l	
Chenopodium album	7. 8.				l	l		l		l		l		l	
Amaranthus viridis	25. 7.				l	l	.	l		l		l		l	
Onobrychis sativa	2. 6.				+	±l	.	l		l		l		l	
Medicago falcata	23. 8.				.	l		l		l		l		l	
Medicago sativa	8. 9.				l	l	.	l	.	l	.	l	.	l	
Orchis masculus	19. 5.				+	+		+		+	.	+	.	l	
Listera ovata	28. 5.				+	+	.	+	.	l		l		l	
Papaver somniferum	5. 7.				+	l	.	l		l		l		l	
Dicentra spectabilis	29. 5.				±l	±l	.	l		l		l		l	
Solanum tuberosum	7. 8.				l	l		l		l		l		l	
Solanum nigrum	29. 8.				l	l		l		l		l		l	

	$MnSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Pribik 1947	*Armoracia rusticana*	5. 7.				+	+		+		+		1		1	
	Sinapis arvense	8. 9.				+	+		+		+	.	1		1	
	Narcissus poeticus	12. 5.				+	+		+		1	.	1		1	
	Impatiens parviflora	2. 6.				+	+		+		+	.	1		1	
	Phlox paniculata	5. 7.				+	+		+		1	.	1		1	
	Campanula patula	21. 6.				+	+		+		+		1		1	
	Saponaria officinalis	1. 8.				+	+	.	+	.	+	.	1		1	
	Malva silvestris	25. 7.				1	1	.	1		1		1		1	
	Cyclamen europaeum	1. 7.				+	±1	.	1		1		1		1	
	Reseda lutea	1. 8.				1	1	.	1	.	1	.	1		1	
	Potentilla reptens	25. 7.				+	+	.	+	.	+	.	1		1	
	Galium verum	30. 4.				.	1		1		1		1		1	
	Scrophularia nodosa	9. 6.				1	1		1		1		1		1	
	Urtica urens	25. 7.				1	1		1		1		1		1	
	Calypogeia Neesiana	7. 9.				1	1		1		1		1		1	
	Trichocolea tomentella	16. 6.				1	1		1		1		1		1	
Biebl 1949	*Solanum tuberosum* (verschiedene Sorten)					1	1		1		1		1		1	
Biebl 1947	*Mnium punctatum*	Anfang Mai				1	1		1		1		1		1	
	Mnium rostratum					1	1		1		1		1		1	
	Calypogeia Neesiana					1	1		1		1		1		1	
	Bazzania trilobata					1	1		1		1		1		1	
	Alicularia scalaris					1	1		1		1		1		1	
	Plagiochila asplenioides					1	1		1		1		1		1	
Biebl 1950 b	Futterrübe, Rote Rübe	Juli/August				1	1	.	1	.	1	.	1		1	
	Kohlrabi, Karfiol					+	+		+		+	.	1		1	
	Rettich					+	+		+		±1		1		1	
	Salat					+	+		+	.	1		1		1	
	Erbse					+	+		1	.	1		1		1	
	Bohne				.	+	+	.	+	.	1		1		1	
	Kartoffel					1	1		1		1		1		1	
	Sellerie					+		.	1	.	1		1		1	
	Karotte					+	+		+	.	1		1		1	
	Gurke				.	+	+	.			1		1		1	
	Elodea canadensis					1	1		1		1		1		1	

$MnSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Eigene Untersuchungen: *Micrasterias rotata*	September	±	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Micrasterias truncata		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Micrasterias americana		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Micrasterias fimbriata		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Euastrum oblongum		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Euastrum verrucosum		1	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Netrium digitus		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Closterium lunula		1	1	±1	+	+	.	+	+	+	1	1	1	1	1
Tetermemorus granulatus		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pleurotaenium truncatum		1	1	1		1	1		1	1	1	1		1	1
Cosmarium pachydermum		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eremosphaera viridis		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Spirogyra I, II, III			+	+	±1	±1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zygnema I, II			+	+	+	±1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Zink.

Nur in seltenen Ausnahmefällen besitzen Zellen höherer Pflanzen hohe Resistenz gegen Zinksulfat. Auch die beobachteten Resistenzänderungen sind weniger ausgeprägt als bei Mangansulfat (vgl. die Tabelle bei Biebl und Rossi-Pillhofer, S. 125).

An unserer Tabelle 2, welche die Ergebnisse der genannten Autoren und meine Ergebnisse zusammenfaßt, fällte eine ausgeprägte Resistenzgrenzlinie bei 0,001% auf. Nur wenige höhere Resistenzen wurden bisher bei höheren Pflanzen gefunden.

Wesentlich höhere Resistenz besitzen viele Moose (Biebl). Leider wurden auch diese Pflanzen bisher nur in höchstens 3% Zinksulfat geprüft, doch erwähnt Biebl (1949, S. 9), daß sich *Trichocolea tomentella* in 1,0 mol Zinksulfat (= 28% !) bestens plasmolysieren läßt.

Die Desmidiaceen zeichnen sich durch teilweise sehr hohe Zinksulfatresistenz aus. *Desmidium Swartzii, Pleurotaenium truncatum, Euastrum verrucosum, Cosmarium pachydermum* und besonders *Euastrum oblongum* leben noch in 10% Zinksulfat! Tafel 1, Fig. 4, zeigt *Euastrum oblongum, Pleurotaenium truncatum* und *Tetmemorus granulatus* nach 48stündiger Behandlung mit 10% $ZnSO_4$. Anschließend wurde eine Stunde in 1,0 mol Traubenzucker plasmolysiert. *Tetmemorus granulatus* ist tot, die anderen Arten leben. *Euastrum oblongum* zeigt ein spätes Teilungsstadium. Weniger resistent sind die Micrasterien, besonders empfindlich ist wieder *Closterium lunula*.

Tabelle 2. Zinkresistenz verschiedener Pflanzenzellen.

Einwirkungsdauer 48 Stunden. l = lebend; ± l = etwa die Hälfte lebend; ∓ l = mehr als die Hälfte tot; + = alles tot.

$ZnSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Lamium purpureum	21. 6.				+	+		+		±l		l		l	
Galeopsis tetrahit	21. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia pratensis	2. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia nemorosa	14. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia sclarea	9. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia verticillata	30. 7.				+	+		+		+		l	.	l	
Ranunculus acer	2. 6.				+	+		+		+		±l	.	l	
Paeonia officinalis	30. 6.				+	+		+		+		l		l	
Aquilegia vulgaris	5. 7.				+	+		+		+		l		l	
Anemone hepatica	17. 7.				+	+		+		+		l		l	
Helleborus niger	17. 7.				+	+		+		+		l		l	
Teraxacum officinale	12. 5.				+	+		+	.	+	.	l		l	
Calendula officinalis	11. 7.				+	+		l	.	l	.	l	.	l	
Galinsoga parviflora	7. 8.				+	+		+		+		+		l	
Artemisia vulgaris	23. 8.				+	+		+		+		+		l	
Colchicum autumnale	17. 4.				+	+		+		+		+		l	
Convallaria majalis	28.4.				+	+		+		+		±l		l	
Lilium candidum	5. 5.				+	+		+		+		+		l	
Tulipa Gesneriana	5. 5.				+	+		+		+		+		l	
Oxalis stricta	19. 5.				+	+		+		+		+	.	l	
Oxalis acetosella	11. 7.				+	+		+		+		l		l	
Tropaeolum majus	11. 7.				+	+		+		+		l	.	l	
Polygonum aviculare	23. 8.				+	+		+		+		±l		l	
Rheum Rhabarbarum	30. 4.				+	+		+		+		+		l	
Rumex acetosa	9. 6.				+	+		+		+		±l	.	l	
Chenopodium album	7. 8.				+	+		+		+		l		l	
Amaranthus viridis	25. 7.				+	+		+		+		l	.	l	
Onobrychis sativa	2. 6.				+	+	.	+	.	+	.	+	.	l	
Medicago falcata	23. 8.				l	l	.	l		l		l		l	
Medicago sativa	8. 9.				+	+		l	.	l	.	l		l	
Orchis masculus	19. 5.				+	+		+		±l		l	.	l	
Listera ovata	28. 5.				+	+		+		+		+		l	
Papaver somniferum	5. 7.				+	+		+		+		+		l	
Dicentra spectabilis	29. 5.				+	+		+		+		+	.	l	
Solanum tuberosum	7. 8.				+	+		+		+		l	.	l	
Solanum nigrum	29. 8.				+	+		+		+		+		l	

Pribik 1947

	$ZnSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Pribik 1947	*Armoracia rusticana*	5. 7.				+	+		+		+		±1	.	1	
	Sinapis arvense	8. 9.				+	+		+		+		1		1	
	Narcissus poeticus	12. 5.				+	+		+		+		1	.	1	
	Impatiens parviflora	2. 6.				+	+		+		+		±1	.	1	
	Phlox paniculata	5. 7.				+	+		+		+		1		1	
	Campanula patula	21. 6.				+	+		+		+		1		1	
	Saponaria officinalis	1. 8.				+	+		+		+		1		1	
	Malva silvestris	25. 7.				+	+		+		+		1	.	1	
	Cyclamen europaeum	1. 7.				+	+		+		+		+		1	
	Reseda lutea	1. 8.				+	+		+		+		+	.	1	
	Potentilla reptans	25. 7.				+	+		+		+		1		1	
	Galium verum	30. 4.				+	+		+		+		1		1	
	Scrophularia nodosa	9. 6.				+	+		+		+		1		1	
	Urtica urens	25. 7.				+	+	.	+	.	+	.	1		1	
	Calypogeia Neesiana	7. 9.				1	1		1		1		1		1	
	Trichocolea tomentella	16. 6.				1	1		1		1		1		1	
Biebl 1949	*Solanum tuberosum* (verschiedene Sorten)					+	+		+		+		1		1	
Biebl 1947	*Mnium punctatum*	Anfang Mai				+	+		1	.	1	.	1		1	
	Mnium rostratum					+	+		+		+		1		1	
	Calypogeia Neesiana					+	+	.	+	.	+	.	1		1	
	Bazzania trilobata					1	1	.	1	.	1		1		1	
	Alicularia scalaris					+	+		+	.	1		1		1	
	Plagiochila asplenioides					+	+		1		1		1		1	
Biebl 1950 b	Futterrübe, Rote Rübe	Juli/August				+	+		+		1	.	1		1	
	Kohlrabi, Karfiol					+	+		+		+		1		1	
	Rettich					+	+		+		+		1	.	1	
	Salat					+	+		+		+		+		1	
	Erbse					+	+		+		+		+	.	1	
	Bohne					+	+		+		+		1		1	
	Kartoffel					+	+		+		+		1		1	
	Sellerie					+	+		+		+		±		1	
	Karotte					+	+		+		+		1		1	
	Gurke					+	+		+		+		1		1	
	Elodea canadensis					+	+		+		+		1		1	

Zn SO_4		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Micrasterias rotata	September		+	+	+	+	+	+	+	±l	l	l	l	l	l
Micrasterias truncate			+	+	+	l	l	.	l	l	l	l	l	l	l
Micrasterias fimbriata			+	+	+	+	+	+	+	±l	±l	l	l	l	l
Micrasterias americana			+	+	+	+	+	+	+	+	+	l	l	l	l
Euastrum oblongum			l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l
Euastrum verrucosum			l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l
Closterium lunula			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	l	l	l
Netrium digitus			+	+	+	+	+	+	+	l	l	l	l	l	l
Desmidium Swartzii			±l	±l	∓l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l
Pleurotaenium truncatum			l	l	.	l	l		l	l	l	l	l	l	l
Tetmemorus granulatus			+	+	+	+	∓l	l	l	l	l	l	l	l	l
Cosmarium pachydermum			l	l				l		l		l	l	l	l
Eremosphaera viridis			+	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l	l
Spirogyra I, II			+	+	+	+	+	±l	l	l	l	l	l	l	l
Spirogyra III			+	+	+	+	l	l	l	l	l	l	l	l	l
Spirogyra IV			+	+	+	+	+	l	l	l	l	l	l	l	l
Zygnema I, II			+	+	+	+	+	l	l	l	l	l	l	l	l
Mougeotia sp.			+	+	+	+	+	l	l	l	l	l	l	l	l

Eigene Untersuchungen

Die Zygnemalen zeigen mittlere Resistenz, auffallend ist der geringe Unterschied zwischen den einzelnen Arten.

Chrom.

Zellen höherer Pflanzen sind gegen Chromsulfat nicht sehr resistent. Die von Pribik für *Polygonum aviculare*, *Rheum Rhabarbarum* und *Rumex acetosa* angegebenen Werte blieben nachzuprüfen. Biebl und Rossi-Pillhofer (1954) geben für verschiedene Wildpflanzen Höchstwerte von 0,001% an. Diese Resistenzgrenze gilt auch für die Mehrzahl der von Pribik untersuchten Pflanzen (Tab. 3).

Erklärung zu nebenstehender Tafel 1.

Fig. 1. *Micrasterias rotata, Closterium lunula* und *Netrium digitus.* 48 Stunden in 20% $MnSO_4$ plasmolysiert.

Fig. 2. *Tetmemorus granulatus,* Teilungsstadium. 48 Stunden in 20% $MnSO_4$ plasmolysiert.

Fig. 3. *Micrasterias truncata.* 48 Stunden in 20% $MnSO_4$ plasmolysiert.

Fig. 4. *Pleurotaenium truncatum, Euastrum oblongum* und *Tetmemorus granulatus.* 48 Stunden in 10% $ZnSO_4$, dann 1 Stunde in 1,0 mol Traubenzucker.

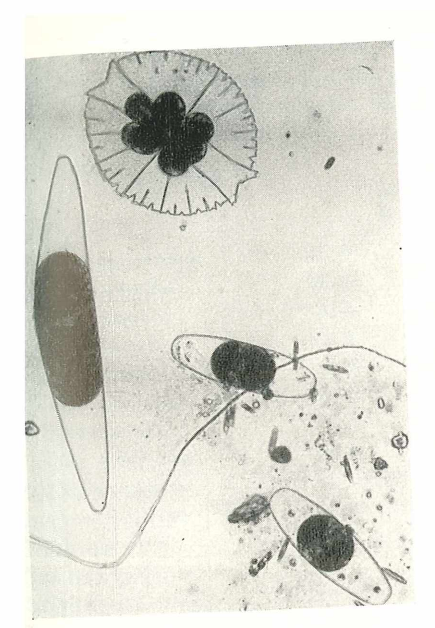


Fig. 1.

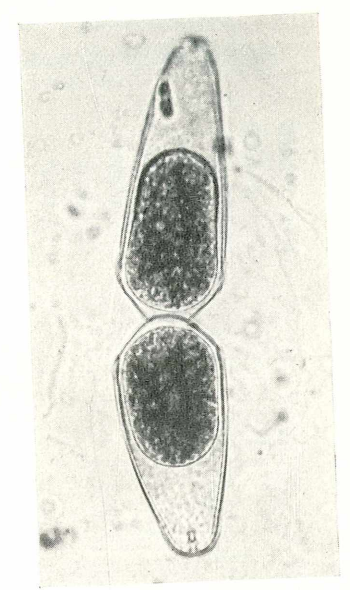


Fig. 2.

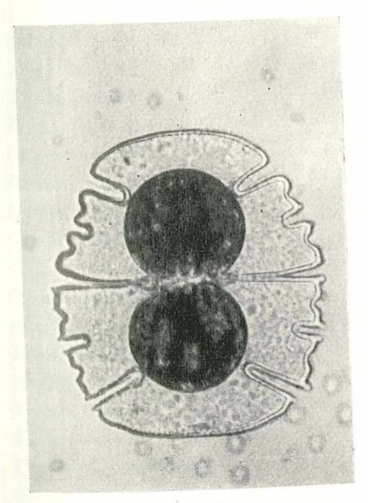


Fig. 3.

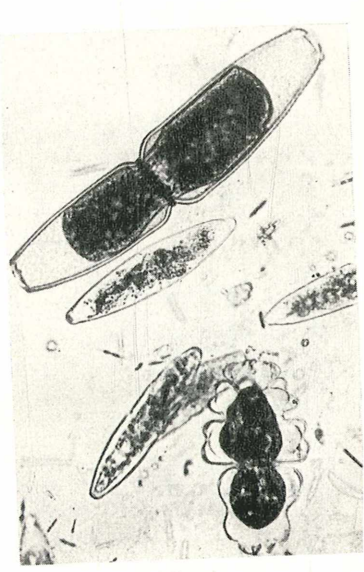


Fig. 4.

Tabelle 3. Chromresistenz verschiedener Pflanzenzellen.

Einwirkungsdauer 48 Stunden. l = lebend; ±l = etwa die Hälfte lebend; ∓l = mehr als die Hälfte tot; + = alles tot.

$Cr_2(SO_4)_3$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Lamium purpureum	21. 6.				+	+		+		+		l		l	
Galeopsis tetrahit	21. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia pratensis	2. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia nemorosa	14. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia sclarea	9. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia verticillata	30. 7.				+	+		+		+	.	l		l	
Ranunculus acer	2. 6.				+	+		+		l	.	l	.	l	
Paeonia officinalis	30. 6.				+	+		+		+		±l	.	l	
Aquilegia vulgaris	5. 7.				+	+		+		+		l		l	
Anemone hepatica	17. 7.				+	+		+		+	.	l		l	
Helleborus niger	17. 7.				+	+		+		l	.	l		l	
Taraxacum officinale	12. 5.				+	+		+		+		.	.	l	
Calendula officinalis	11. 7.				+	+		+		+		+		l	
Galinsoga parviflora	7. 8.				+	+		+		+		+		l	
Artemisia vulgaris	23. 8.				+	+		+		+		+	.	l	
Colchicum autumnale	17. 4.				+	+		+		+					
Convallaria majalis	28. 4.				+	+		+		±l	.	+		+	
Lilium candidum	5. 5.				+	+		+		l		l		l	
Tulipa Gesneriana	5. 5.				+	+		+		l	.	l		l	
Oxalis stricta	19. 5.				+	+		+		+		l		l	
Oxalis acetosella	11. 7.				+	+		+		+		l		l	
Tropaeolum majus	11. 7.				+	+	.	+	.	+	.	l		l	
Polygonum aviculare	23. 8.				+	l	.	l		l		l		l	
Rheum Rhabarbarum	30. 4.				+	+		l		l		l		l	
Rumex acetosa	9. 6.				+	+		l	. .	l	.	l		l	
Chenopodium album	7. 8.				+	+		+		+		l		l	
Amaranthus viridis	25. 7.				+	+		+		+	.	l		l	
Onobrychis sativa	2. 6.				+	+		+		l	.	l	.	l	
Medicago falcata	23. 8.				+	+		+		+		±l	.	l	
Medicago sativa	8. 9.				+	+		+		+		l		l	
Orchis masculus	19. 5.				+	+		+		+	.	l		l	
Listera ovata	28. 5.				+	+		+		l	.	l	.	l	
Papaver somniferum	5. 7.				+	+		+		+		+		l	
Dicentra spectabilis	29. 5.				+	+		+		+		+		l	
Solanum tuberosum	7. 8.				+	+		+		+		±l		l	
Solanum nigrum	29. 8.				+	+		+		+		+		l	

$Cr_2(SO_4)_3$

			20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Pribik 1947	*Armoracia rusticana*	5. 7.				+	+		+		+		1		1	
	Sinapis arvense	8. 9.				+	+		+		+		1		1	
	Narcissus poeticus	12. 5.				+	+		+		±1	.	1		1	
	Impatiens parviflora	2. 6.				+	+		+				1		1	
	Phlox paniculata	5. 7.				+	+		+		.	.	1		1	
	Campanula patula	21. 6.				+	+		+		+		1		1	
	Saponaria officinalis	1. 8.				+	+		+		+		1		1	
	Malva silvestris	25. 7.				+	+		+		+		1	.	1	
	Cyclamen europaeum	1. 7.				+	+		+		+		+	.		1
	Reseda lutea	1. 8.				+	+		+		+		1		1	
	Potentilla reptans	25. 7.				+	+		+		+		1		1	
	Galium verum	30. 4.				+	+		+		+		1		1	
	Scrophularia nodosa	9. 6.				+	+		+		+		1		1	
	Urtica urens	25. 7.				+	+		+		+		1		1	
	Calypogeia Neesiana	7. 9.				+	+	.	+	.	+	.	1		1	
	Trichocolea tomentella	16. 6.				+	1		1		1		1		1	
Biebl 1949	*Solanum tuberosum* (verschiedene Sorten)					+	+		+		+		1		1	
eigene Untersuchungen	*Micrasterias rotata*	September			1	1	1	1	+	+	+	1	1	1	1	1
	Micrasterias fimbriata				+	+	+	+	+	+	+	±1	1	1	1	1
	Micrasterias truncata				+	+	+	+	+	+	+	1	1	1	1	1
	Micrasterias americana						1	1	+	+	+	1	1	1	1	1
					30%	50%		30%	30%							
	Netrium digitus				1		1	1	+	+	+	+	1	1	1	1
	Euastrum oblongum				1	1	1	1	±1	±1	1	1	1	1	1	1
	Euastrum verrucosum				+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pleurotaenium truncatum				1		1	1	∓1	+	+	1	1	1	1	1
	Closterium Lunula				+	+	+	+	+	+	+	+	±1	1	1	1
	Closterium striolatum			.	+		.	+	.	+	+	+	+	1	1	1
	Cosmarium pachydermum				1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tetmemorus granulatus				1		1	1	+	+	+	+	1	1	1	1
	Eremosphaera viridis				+		+	+	+	+	+	+	1	1	1	1

Die Desmidiaceen weisen wesentlich höhere Resistenzen auf; allerdings ist hier die Erscheinung der „Todeszonen“ im mittleren Konzentrationsbereich aufs deutlichste ausgeprägt. Besonders auffallend ist, daß bei jenen Arten, welche die Todeszone zeigen, die untere Grenze dieser Zone fast genau in jenem Bereich liegt, der auch für die Phanerogamen charakteristisch ist. Während nun aber die Zellen höherer Pflanzen bei den besagten 0,001% ihre endgültige Resistenzgrenze erreichen, leben manche Desmidiaceen wieder ab etwa 0,5%! Auf dieses auffallende Phänomen sowie im besonderen auf das Verhalten der Mesotaeniale *Netrium Digitus*, wird in der Besprechung zurückzukommen sein.

Tafel 2, Fig. 5, zeigt zwei Netrien aus 5% Chromsulfat. Am toten Exemplar mit den stark geschrumpften Chromatophoren ist gut das koagulierte Plasma zu erkennen. Bei Plasmolyse mit 1,0 mol Traubenzucker, wie es Tafel 2, Fig. 6, zeigt, tritt sehr starke Längsabhebung mit negativen Plasmolysearten auf (vgl. Eibl 1939, S. 532—534). Die Auftreibung in der Mitte entspricht der von Eibl beschriebenen Erscheinung: „... denn dort, wo keine oder nur wenig Chloroplastensubstanz ist, kann der Protoplast seinem Bestreben nach sphärischer Rundung am leichtesten nachkommen. Die beiden Chromatophoren sitzen ihm gewissermaßen wie zwei ... der Rundung hinderliche Kappen auf“.

Die toten Netrien in Tafel 2, Fig. 5 und 6, gleichen einander völlig. Ganz anders sehen die Todesbilder bei Netrium in 0,01% aus (Tafel 2, Fig. 7). Der Chromatophor ist hier nicht geschrumpft, sondern sehr stark degeneriert. Es scheint, daß — im Gegensatz zu den toten Netrien in 5% Chromsulfat — der Tod hier nicht schnell eingetreten ist, sondern ein allmähliches Absterben mit zunehmendem Verfall der Chloroplasten eingetreten ist.

Vanadium.

Die Resistenz pflanzlicher Plasmen gegen Vanadium wurde von Biebl (1950 a) an Phanerogamen und Mooszellen geprüft. Die Zellen höherer Pflanzen sind auch gegen Vanadium wenig resistent. Von den von Biebl untersuchten höheren Pflanzen erreicht die Mehrzahl (24) bei 0,001% ihre Resistenzgrenze; 7 Pflanzen leben nur bis 0,0001%, während 8 Pflanzen noch in 0,01% leben. Nur eine (*Rhoeo discolor*) erreicht 1%.

Wesentlich resistenter sind wieder manche Moose, wie *Bazzania trilobata* oder *Trichocolea tomentella* (bis 10% bzw 5%).

Auch die Zieralgen zeichnen sich wieder durch extrem hohe Resistenz aus. Alle untersuchten Arten leben noch in 5%, doch sind

hier wieder deutliche Todeszonen zu beobachten. Wieder liegen die unteren Grenzen der Todeszonen in einem Bereich, in dem auch die meisten Phanerogamenzellen sterben. *Netrium digitus* fällt aus der Reihe. Es zeigt bei 0,1% eine scharfe Resistenzgrenze. Tafel 2, Fig. 8, zeigt *Tetmemorus granulatus* 48^h in 10% $VOSO_4$, dann 30 Minuten in 1,0 mol Traubenzucker plasmolysiert.

Die untersuchten Zygnemalen zeigen eine Resistenz, die ungefähr derjenigen höherer Pflanzen entspricht (Tab. 4).

Tabelle 4. Vanadiumresistenz verschiedener Pflanzenzellen.

Einwirkungsdauer 48 Stunden. 1 = lebend; ± 1 = etwa die Hälfte lebend; ∓ 1 = mehr als die Hälfte tot; + = alles tot.

	$VOSO_4$	20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Biebl 1950 a	Diverse Blütenpflanzen				+	+	.	+	.	8		24		7	1
	Rhoeo discolor				+	1		1		1		1		1	
	Mnium rostratum	+	+	±1	1	1		1		1		1		1	
	Mnium undulatum	+	±	1	1	1		1		1		1		1	
	Mnium punctatum	+	+	+	1	1		1		1		1		1	
	Plagiochila asplenoides	+	+	±1	1										
	Bazzania trilobata	±1	1	1	1	1		1		1		1		1	
	Trichocolea tomentella	+	±1	1	1	1		1		1		1		1	
eigene Untersuchungen	*Micrasterias rotata* September		+	1	1	1	1	+	+	+	+	±1	1	1	1
	Micrasterias truncata		±1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Micrasterias americana		+	±1		±1	1	1	.	±1	1	1	1	1	1
	Micrasterias fimbriata		+	1	1	1	1	±1	+	+	+	±1	1	1	1
	Euastrum oblongum		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Euastrum verrucosum		1	1	1	1	1	1	.	1	1	.	1	1	1
	Closterium lunula		+	∓1	∓1	1	1	1	+	+	+	+	+	1	1
	Netrium digitus		+	+	+	+	∓1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desmidium Swartzii		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tetmemorus granulatus		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pleurotaenium truncatum			1	1		1	1	1			1		1	1
	Cosmarium pachydermum		+	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Arthrodesmus convergens			1	1	1	+	+	.	+	+	+	1		1
	Eremosphaera viridis		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Spirogyra I, II, IV			+	+	+	+	+	+	1	1	1	1	1	1
	Zygnema I, II			+	+	+	+	+	+	1	1	1	1	1	1

Kupfer.

Sämtliche bisher untersuchten Pflanzen zeichnen sich durch niedrige Resistenz gegenüber Kupfersulfat aus. Zellen höherer Pflanzen erreichen höchstens 0,001% (mit Ausnahme von *Onobrychis sativa,* welches [nach Pribik] noch in 0,01% lebt). Die gegenüber anderen Schwermetallen so resistenten Moose sind noch empfindlicher (*Trichocolea tomentella, Calypogeia Neesiana* erreichen schon bei 0,0001% ihre Resistenzgrenze); vgl. Tab. 5, S. 222 f.

Die untersuchten Desmidiaceen sind in allen Konzentrationsstufen tot. Bei 0,005% zeigt sich eine scharfe Grenze. Oberhalb dieser Konzentration sind die Desmidiaceen fixiert, die Chloroplasten zeigen fast ihre natürliche Gestalt. Unterhalb der Grenze zeigen alle Zellen Degenerationserscheinungen, ähnlich Tafel 2, Fig. 7 (*Netrium* wurde in Kupfersulfat nicht untersucht). Es scheint, als hätte das Plasma bis 0,005% dem Kupfer einigen Widerstand geleistet. Über dieser Stufe war die Konzentration schon so stark, daß die Zelle plötzlich getötet wurde (Tab. 5).

Die übergroße Kupferempfindlichkeit der Desmidiaceen erwähnt auch Krebs (1951). Sie schreibt, daß Material, welches nur 10 Minuten in $CuSO_4$ von 0,000001% eingelegt wurde und nachher in Standortswasser zurückgebracht wurde, nach wenigen Tagen nur tote Zellen aufwies.

Überraschenderweise sind die Zygnemalen etwas resistenter. Zygnema II lebt noch in 0,0005%. In 0,00001% leben auch einige *Eremosphaera*-Exemplare.

Besprechung und Ausblick.

Die vorliegenden Resistenzversuche mit Desmidiaceen zeigen, daß viele Spezies gegen Schwermetallsalze außerordentlich hohe Resistenz zeigen. Mit Ausnahme von Kupfer leben viele Spezies bei allen anderen untersuchten Schwermetallen noch in den höchsten geprüften Konzentrationen. Diese liegen knapp unter dem grenzplasmolytischen Bereich oder übersteigen ihn sogar (Mangan!).

Als durchwegs hoch resistent erwiesen sich *Pleurotaenium truncatum, Desmidium Swartzii, Euastrum verrucosum* und besonders *Cosmarium pachydermum* und *Euastrum oblongum.* Die beiden letzteren Arten sind die einzigen, die keine ausgeprägten Todeszonen zeigen, sondern in allen Konzentrationsbereichen leben. Als besonders empfindlich erwies sich, in Übereinstimmung mit anderen zellphysiologischen Beobachtungen, *Closterium lunula.*

Tabelle 5. Kupferresistenz verschiedener Pflanzenzellen.

Einwirkungsdauer 48 Stunden. l = lebend; ± l = etwa die Hälfte lebend; ∓ l = mehr als die Hälfte tot; + = alles tot.

$CuSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Lamium purpureum	21. 6.				+	+		+		+		±l	.	l	
Galeopsis tetrahit	21. 6.				+	+		+		+		l		l	
Salvia pratensis	2. 6.				+	+		+		+		l	.	l	
Salvia nemorosa	14. 6.				+	+		+		+		±l		l	
Salvia sclarea	9. 6.				+	+		+		+		±l		l	
Salvia verticillata	30. 7.				+	+		+		+		+	.	l	
Ranunculus acer	2. 6.				+	+		+		+		l	.	l	
Paeonia officinalis	30. 6.				+	+		+		+		+l	.	±l	
Aquilegia vulgaris	5. 7.				+	+		+		+		l		l	
Anemone hepatica	17. 7.				+	+		+		+		l		l	
Helleborus niger	17. 7.				+	+		+		+		l	.	l	
Taraxacum officinale	12. 5.				+	+		+		+	.!	+l		l	
Calendula officinalis	11. 7.				+	+		+		+		+		l	
Galinsoga parviflora	7. 8.				+	+		+		+		+		+l	
Artemisia vulgaris	23. 8.				+	+		+		+		+		l	
Colchicum autumnale	17. 4.				+	+		+		+		+	.	l	
Convalleria majalis	28. 4.				+	+		+		+		l	.	l	
Lilium candidum	5. 5.				+	+				+		+	.	l	
Tulipa Gesneriana	5. 5.				+	+		+		+		l	.	l	
Oxalis stricta	19. 5.				+	+		+		+		+		l	
Oxalis acetosella	11. 7.				+	+		+		+		+		±l	
Tropaeolum majus	11. 7.				+	+		+		+		+	.	l	
Polygonum aviculare	23. 8.				+	+		+		+		l		l	
Rheum Rhabarbarum	30. 4.				+	+		+		+		l		l	
Rumex acetosa	9. 6.				+	+		+		+		l	.	l	
Chenopodium album	7. 8.				+	+		+		+		+		l	
Amaranthus viridis	25. 7.				+	+		+		+	.	l	.	l	
Onobrychis sativa	2. 6.					+		+		l	.	l	.	l	
Medicago falcata	23. 8.				+	+		+		+		±l	.	l	
Medicago sativa	8. 9.				+	+		+		+		l		l	
Orchis masculus	19. 5.				+	+		+		+		l	.	l	
Listera ovata	28. 5.				+	+		+		+		+		l	
Papaver somniferum	5. 7.				+	+		+		+		+		l	
Dicentra spectabilis	29. 5.				+	+		+		+		+		l	
Solanum tuberosum	7. 8.				+	+		+		+		±l		l	
Solanum nigrum	29. 8.				+	+		+		+		+		l	

Pribik 1947

	$CuSO_4$		20%	10%	5%	3%	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%	0,005%	0,001%	0,0005%	0,0001%	0,00001%
Pribik 1947	*Armoracia rusticana*	5. 7.				+	+		+		+		+		l	
	Sinapis arvense	8. 9.				+	+		+		+		+		l	
	Narcissus poeticus	12. 5.				+	+		+		+		+		l	
	Impatiens parviflora	2. 6.				+	+		+		+		+		l	
	Phlox paniculata	5. 7.				+	+		+		+		+		l	
	Campanula patula	21. 6.				+	+		+		+		±l	.	l	
	Saponaria officinalis	1. 8.				+	+		+		+		l	.	l	
	Malva silvestris	25. 7.					+		+		+		±l		l	
	Cyclamen europaeum	1. 7.				+	+		+		+		+		±l	
	Reseda lutea	1. 8.				+	+		+		+		+	.	l	
	Potentilla reptens	25. 7.				+	+		+		+		l		l	
	Galium verum	30. 4.				+	+		+		+		l	.	l	
	Scrophularia nodosa	9. 6.				+	+		+		+		+	.	l	
	Urtica urens	25. 7.				+	+		+		+		l	.		
	Calypogeia Neesiana	7. 9.				+	+		+		+		+		l	
	Trichocolea tomentella	16. 6.				+	+		+		+		+		l	
Eigene Untersuchungen	*Micrasterias rotata*	September					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Micrasterias americana						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Micrasterias fimbriata						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Euastrum oblongum						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Euastrum verrucosum						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Closterium lunula						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Eremosphaera viridis						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Spirogyra I, III						+	+	+	+	+	+	+	+	±l	l
	Spirogyra II						+	+	+	+	+	+	+	+	l	l
	Spirogyra IV						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Zygnema I						+	+	+	+	+	+	+	+	+	l
	Zygnema II						+	+	+	+	+	+	+	l	l	l

Die Mehrzahl der untersuchten Desmidiaceen besitzt für die einzelnen Metalle (außer Kupfer) jedenfalls eine wesentlich höhere Resistenz als die Zellen der höheren Pflanzen. Sie ähneln in ihrem Resistenzverhalten den Moosen[4].

[4] In diesem Zusammenhang wären Sodaversuche an Mooszellen nachzutragen. Manche der resistenten Moose müßten — dem ähnlichen Verhalten in Schwermetallsalzen zu schließen — auch gegen Sodalösungen hoch resistent sein.

Zur Frage nach dem Wesen der Resistenz schreibt Höfler (1951, S. 429): „Wenn eine Substanz binnen gleicher Zeit die einen Zellen tötet, die anderen am Leben läßt, so kann dies zweierlei Ursachen haben: Das Plasmalemma ist bei den einen Zellen für die betreffenden Stoffe durchlässig, bei den anderen nicht, d. h. die Intrabilität ist hoch bzw. niedrig. Oder die Stoffe treten in beiden Fällen ein, aber die einen Zytoplasmen sind gegen sie unempfindlich, die anderen werden getötet." Biebl und Rossi-Pillhofer (1954, S. 129) ergänzen: „Betrachten wir daraufhin die chemischen Resistenzen unserer Versuchspflanzen, so dürfen wir uns vielleicht in allen Fällen, in denen die Resistenzgrenzen bei niederen Konzentrationen liegen, von vornherein für den zweiten Fall entscheiden. Es ist kaum anzunehmen bzw. nicht wahrscheinlich, daß z. B. bei einer letalen Konzentration von 0,1%, bei welcher die Lösung also zweifellos ins Plasma gedrungen ist und dieses getötet hat, das Plasmalemma einer Konzentration von 0,01% den Eintritt verwehrt hat."

Wie steht es nun dort, wo sich Resistenzen auch in hohen Konzentrationen finden? Biebl und Rossi-Pillhofer diskutieren ihre Ergebnisse mit $MnSO_4$, wo sie an einigen Objekten „Todeszonen" fanden, und erwähnen Kaho (1933), der der Ansicht ist, daß die Schwermetallsalze bei der Berührung mit dem Plasma auf dessen Oberfläche eine Schutzschicht in Form einer irreversibel koagulierten Oberflächenschicht erzeugen. Dadurch wird das Eindringen des Salzes auf einige Zeit verhindert. Nach Biebl und Rossi-Pillhofer darf der Annahme Höflers, daß in bestimmten Fällen die Resistenzunterschiede verschiedener Plasmen auf Verschiedenheiten ihrer Plasmalemmen zurückgehen, ergänzend hinzugefügt werden, daß die verschiedene „Dichte" des Plasmalemmas nicht von vornherein gegeben sein muß, sondern sich unter Umständen erst bei Einwirkung höherer Salzkonzentrationen ausbilden kann.

Erklärung zu nebenstehender Tafel 2.

Fig. 5. *Netrium digitus.*
48 Stunden in 5% $Cr_2(SO_4)_3$.

Fig. 6. *Netrium digitus.*
48 Stunden in 5% $Cr_2(SO_4)_3$, dann 15 Minuten in 1,0 mol Traubenzucker.

Fig. 7. *Netrium digitus.*
48 Stunden in 0,01% $Cr_2(SO_4)_3$.

Fig. 8. *Tetmemorus granulatus.*
48 Stunden in 10% $VOSO_4$, dann 30 Minuten in 1,0 mol Traubenzucker plasmolysiert.

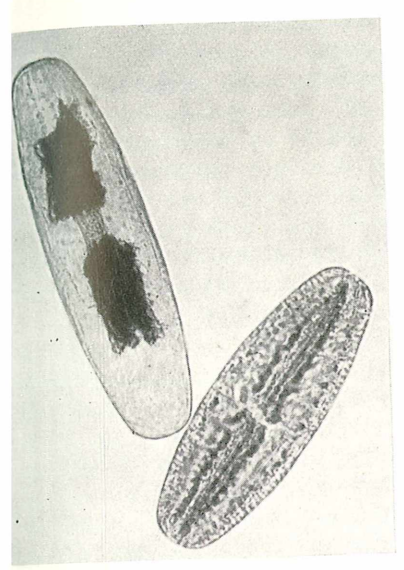


Fig. 5.

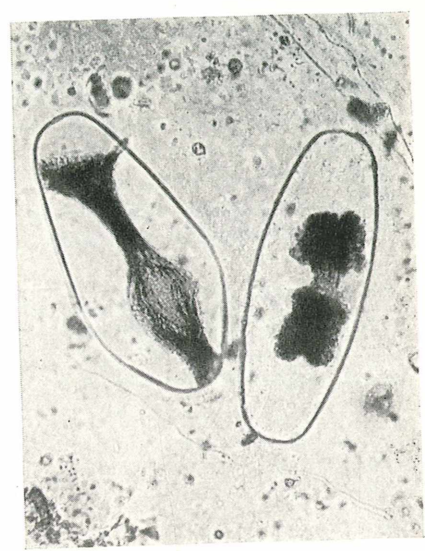


Fig. 6.

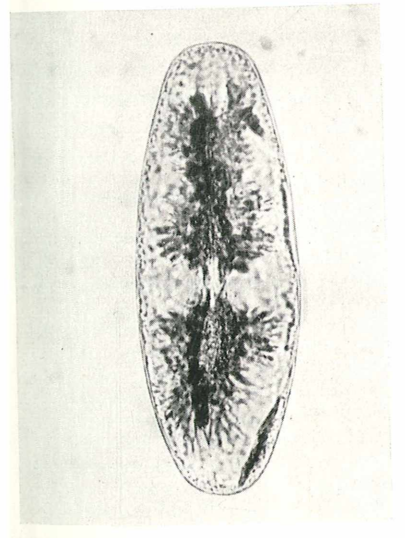


Fig. 7.

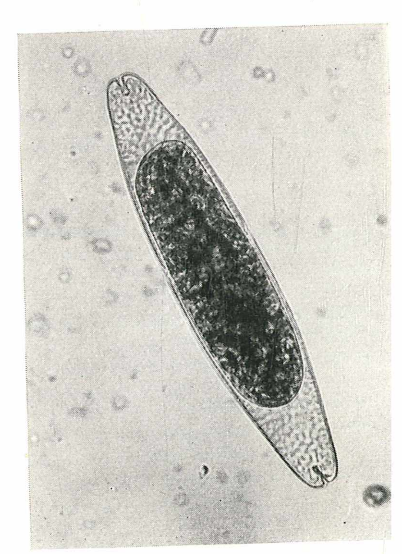


Fig. 8.

Die Beobachtungen an Desmidiaceen entsprechen diesen Darlegungen. In jenen Fällen, wo hier Todeszonen auftreten (also besonders bei Cr und V), ist das Plasma den eindringenden Salzen gegenüber bis zu einer gewissen Konzentration resistent und wird bei einer höheren getötet. Die Möglichkeit, mit dem Plasmalemma eine Schutzschicht zu bilden, ist erst ab einer gewissen höheren Salzkonzentration gegeben. Biebl und Rossi-Pillhofer betonen für die Schwermetallsalze (S. 131): „Neu ist, daß solche Veränderungen des Plasmalemmas nicht allein am plasmolytisch abgehobenen Protoplasten, sondern schon im hypotonischen Bereich auftreten können."

Die Beobachtungen an Netrien in Chromsulfat sprechen dafür, daß die Bildung der Schutzschicht tatsächlich unmittelbar nach dem Zusammentreffen der Lösung mit dem Plasmalemma erfolgt. Die Todeszone reicht aber bei dieser Art von 0,05 bis 0,005%. In 0,1% leben dann wieder etwa 10% der Individuen, in 0,5% leben aber 90%. Wie ist das zu erklären? Eine Konzentration von 0,05% ist noch zu schwach, um mit dem Plasmalemma eine Schutzschicht zu bilden. 0,1% steht an der Grenze. Einige Exemplare können schon eine Schutzschicht bilden, bevor das Salz ins Binnenplasma dringt. 0,5% ist eine optimale Konzentration, sodann nimmt der Prozentsatz der lebenden Individuen wieder ab. In 1% leben 50%, in 5% leben 30%. In diesen hohen Konzentrationen sterben entweder teilweise die Individuen trotz erfolgter „Abdichtung", oder es ist die Konzentration des Salzes so stark, daß bei manchen Zellen, bevor sich die schützende Oberflächenschicht bilden kann, Chrom ins Binnenplasma dringt und dieses tötet. Die Beobachtungen an anderen Desmidiaceen, aber auch die Erfahrungen an Moosen sprechen für den zweiten Fall.

In diesem Zusammenhang sind die Befunde von Kamiya (1939) und Schindler (1943) bemerkenswert. Die genannten Autoren arbeiteten mit Zwiebelschnitten und beobachteten in verschiedenen Stoffen (KNO_3, $CuSO_4$, $CoNO_3$), die in hypertonischer Konzentration geboten wurden, nach einiger Zeit eine eigenartige Zonierung im Schnitt. Die alleräußersten Zellen waren tot, dann folgte ein enger Ring lebender Zellen, während die gesamte Innenfläche tot ist. Diese Erscheinung ist wohl so zu erklären, daß die betreffenden Stoffe, in gewisser Konzentration geboten, einen schützenden Niederschlag auf der Oberfläche des Protoplasten bilden. Nun können die Stoffe nur an die äußeren Zellen sofort in voller Konzentration heran, während sie zu den im Inneren des Schnittes liegenden erst allmählich zudiffundieren. Sie treffen daher auf die Protoplaste jener im Inneren liegenden Zellen zunächst in einer geringeren Konzentration auf, in welcher noch nicht die Möglichkeit einer Niederschlagsbildung gegeben ist. Eine gewisse Menge des Salzes dringt so ins Plasma und tötet dieses oder schädigt es so schwer, daß es bald danach abstirbt. Schindler zeigt z. B. mit Kobaltnitrat, daß in einer 0,5molaren Lösung an Zwiebelschnitten die erwähnte Zonierung aufs deut-

lichste auftritt. (Diese Konzentration ist hypertonisch!) Bringt man einen gleichen Zwiebelschnitt den gleichen Zeitraum (48 Stunden) in 0,1 mol Kobaltnitrat, so lebt keine Zelle mehr.

Bei anderen Desmidaceen ist in den hohen Konzentrationen der Entweder-Oder-Typus ausnahmslos verwirklicht. Entweder, es gibt keinen oberen Lebensbereich, oder es wird eine schützende Schicht gebildet, und diese ist dann völlig undurchdringlich, so daß selbst tagelange starke Plasmolyse ertragen wird. Eine ähnliche Erscheinung wie bei Netrium in Chromsulfat finden wir noch bei *Closterium lunula* in Vanadium (bei 5% und 3% mit ± 1 bezeichnet).

Netrium digitus und *Closterium lunula* sind aber, wie schon erwähnt, im Gegensatz zu den allgemein sehr hoch resistenten Desmidiaceen, wie *Euastrum oblongum* und *Cosmarium pachydermum,* deutlich empfindlicher. *Netrium* läßt sich in Soda plasmolysieren, doch ist es gegen Zn und V ziemlich empfindlich. Loub (1951) schreibt den Mesotaeniales eine allgemein größere Empfindlichkeit zu als den Desmidiales.

Wenden wir uns nun der auffallenden Erscheinung zu, daß bei den Algen, die eine Todeszone zeigen, die untere Grenze der Resistenz fast genau in jenem Bereich liegt, der als Resistenzgrenze vieler Phanerogamen charakteristisch ist. Das zeigt zunächst zumindest für jene Fälle, wo Todeszonen auftreten, daß das Plasma dieser Arten keineswegs resistenter ist als jenes vieler höherer Pflanzen oder das Plasma jener Desmidiaceen, die schon in niederen Konzentrationsbereichen ihre endgültige Lebensgrenze erreichen. Der Unterschied liegt hier wohl allein in einem anders gearteten Plasmalemma.

Wie liegen die Verhältnisse aber bei Zellen, welche im ganzen Konzentrationsbereich leben? Zwei Möglichkeiten sind hier in Betracht zu ziehen. Entweder das Plasma ist von „normaler“ (niederer) Resistenz, und das Plasmalemma kann schon in niedrigen Konzentrationsbereichen eine Abdichtungsschicht bilden oder das Plasma ist wesentlich resistenter und bleibt im kritischen Bereich am Leben, in welchem andere Arten Todeszonen zeigen. Für die ganz hohen Konzentrationen ist aber wohl auf jeden Fall mit einem Abdichtungsmechanismus zu rechnen. Die bisherigen Beobachtungen sprechen sehr für ersteren Fall. Das Binnenplasma der einzelnen Desmidiaceen-Arten ist an sich wohl nicht sehr verschieden. Große Differenzen wurden aber in der Ausbildung des Plasmalemmas gefunden. So ist es eher wahrscheinlich, daß bei den Arten, die — in Cr und V — keine Todeszone zeigen, eine Abdichtung schon in niedrigeren Konzentrationsbereichen erfolgen kann. Von

vornherein anzunehmen, daß die Stoffe bei niederer Konzentration auf jeden Fall ins Plasma eindringen (Biebl und Rossi-Pillhofer 1954, Zitat auf S. 129), dürfte nicht allen Möglichkeiten gerecht werden. Zur Klärung der Verhältnisse wird in jedem Fall eine ins Detail gehende zellphysiologische Analyse erforderlich sein.

Zumindest scheint die Höhe der Konzentration, bei welcher die Salze noch keinen schützenden Niederschlag bilden und also noch ins Plasma eindringen können, im einzelnen Fall sehr verschieden.

Von Interesse sind vielleicht auch die p_H-Werte der verwendeten Lösungen. Die Messung wurde mit einer Glaselektrode am Lautenschläger-Ionometer durchgeführt. Die Temperatur betrug 18° C.

p_H-Werte.

Prozent	Mangan	Chrom	Zink	Vanadium	Kupfer
10		2,41			3,36
5	5,80		4,71	2,33	
1		3,12			4,20
0,5			5,52	2,90	
0,1		3,52			4,72
0,05			5,59	3,31	
0,01	6,00	3,92			5,02
0,005			5,77	3,64	
0,001		4,72			5,11
0,0005			5,75	4,28	
0,0001	6,38	5,14		4,88	5,11
0,00001		5,18	5,48	5,14	
H_2O dest.		5,18	5,28	5,12	5,13

Die Tabelle zeigt, daß — wie zu erwarten — die Lösungen der dreiwertigen Metalle sehr sauer reagieren. Auffallenderweise sind das gerade die Metalle, in deren Lösungen die deutlichen Todeszonen auftreten. Die p_H-Werte, die sich auf die ganz schwachen Lösungen beziehen, sind natürlich kaum reproduzierbar, da in diesen praktisch ungepufferten Lösungen bereits der CO_2-Gehalt des Wassers eine Rolle spielt.

Die Ergebnisse der bisherigen chemischen Resistenzforschung, wie sie von Biebl (1947) angeregt wurde, zeigen uns neben deutlichen großen Zügen (allgemein höhere Resistenz der Moose und Desmidiaceen gegenüber Blütenpflanzen, allgemein niedrige Resistenz aller untersuchten Pflanzenzellen gegen Kupfer) eine Viel-

falt zellphysiologischer Befunde, die sich nicht ohne weiteres zusammenschauend fassen lassen. Es sei nur an die starke Resistenzveränderlichkeit vieler Plasmen erinnert (Biebl und Rossi-Pillhofer). Von den bisher untersuchten Stoffen zeigt sich besonders bei Mangan und Zink diese Erscheinung in teilweise sehr hohem Maße. Wie auch die Permeabilitätsreihe im Lauf des Jahres sich für eine bestimmte Plasmasorte ändern kann, so sind auch die Resistenzen verschieden, ändern sich auch gegensinnig (Biebl 1947 b) oder für den einen Stoff mehr, für den anderen weniger. Eine Kennzeichnung der gegebenen Plasmasorte durch eine „Resistenzkombination" gilt also nur für einen bestimmten Entwicklungszustand. (Es ist auch daran zu denken, daß sich unter Einwirkung verschiedener Außenfaktoren die Resistenz experimentell verändern läßt.)

Betrachten wir alle vorliegenden Tabellen, so sieht man innerhalb jeder der bisher untersuchten Schwermetallsalze eine bevorzugte Resistenzgrenze, meist etwa bei 0,001%. Auch Mangan macht keine Ausnahme. Hier liegt entweder die Resistenzgrenze in der Nähe des genannten Wertes, oder sie liegt so hoch, daß die Resistenz bis zu den stärksten untersuchten Konzentrationen reicht.

Wie gezeigt, ist von allen bisher untersuchten Metallen Kupfer bei weitem am schädlichsten. Eine Resistenz in höheren Konzentrationsbereichen konnte nirgends gefunden werden. Es wäre von Interesse, sich hier den „ökologischen" Resistenzen zuzuwenden und solche Pflanzen zellphysiologisch zu untersuchen, welche Kupferböden bewohnen. Nach Angaben Prats (1934) wachsen z. B. *Agrostis alba* und *Melandrium silvestre* in der Slowakei bestandbildend auf Böden mit bis zu 3,9% Kupfergehalt. In Kulturversuchen haben sich diese Pflanzen als wesentlich resistenter erwiesen als andere Arten. Wenn diese Pflanzen — was anzunehmen ist — sich auch im zellphysiologischen Versuch gegen Kupfer als deutlich resistenter erweisen, wenn es sich also um eine „ökologische Resistenz" im Sinne Biebls handelt, so wäre zu prüfen, ob diese Plasmen auch gegen andere sonst ± giftig wirkende Schwermetalle resistenter sind. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang die Untersuchung von Baumeister (1954) über den Einfluß des Zinks auf *Silene inflata,* einer Galmeipflanze. Der Autor kommt zu dem Schluß, daß diese Pflanze nicht allein gegen hohe Zinkkonzentrationen resistent ist. Es hat darüber hinaus eine ganz spezielle Anpassung an den hohen Zinkgehalt des Bodens stattgefunden, so daß hier bereits von einer Notwendigkeit oder wenigstens von einer günstigen Wirkung der hohen Zinkkonzentrationen gesprochen werden kann.

Zusammenfassung.

Verschiedene Desmidiaceen wurden auf ihre Resistenz gegenüber Schwermetallverbindungen (Zinksulfat, Mangansulfat, Vanadylsulfat, Chromsulfat, Kupfersulfat) untersucht.

Die Desmidiaceen zeigen teilweise eine sehr hohe Resistenz gegen die genannten Salze (Kupfer ausgenommen). Die Resistenz reicht mehrfach in stark hypertonische Bereiche (für Mangan, Tafel 1, Fig. 1—3) oder doch bis zu den höchsten untersuchten Konzentrationsstufen, die knapp unter dem isotonischen Bereich liegen. Als durchwegs besonders resistent erwiesen sich *Euastrum oblongum, Cosmarium pachydermum, Pleurotaenium truncatum, Desmidium Swartzii* und *Euastrum verrucosum*. Niedere Resistenz zeigen insbesondere *Closterium lunula,* aber auch *Micrasterias fimbriata* und teilweise *Micrasterias rotata* und *Netrium digitus.*

Im Chromsulfat und Vanadylsulfat treten charakteristische „Todeszonen" auf. Die betreffenden Arten sind dabei in den niederen Konzentrationsstufen bis etwa 0,001% am Leben und ebenso in den höheren Konzentrationen von etwa 0,5% aufwärts, während sie im mittleren Bereich absterben. Die Erscheinung ist wohl so zu deuten, daß von den in höheren Konzentrationen am Leben bleibenden Desmidiaceen zunächst jene, welche eine Todeszone zeigen, kein resistenteres Plasma haben als die Gewebszellen höherer Pflanzen oder derjenigen Desmidiaceen, welche schon in tiefen Konzentrationsbereichen ihre endgültige Resistenzgrenze erreichen. Die Arten, welche „Todeszonen" zeigen, schützt im oberen Bereich ihr stark ausgebildetes Plasmalemma.

Auf die Bedeutung der Untersuchung „ökologischer Resistenzen" an Plasmen von Pflanzen, welche Kupferböden bewohnen, wird hingewiesen.

Literaturverzeichnis.

Baumeister, W., 1954: Über den Einfluß des Zinks bei *Silene inflata* Smith. Ber. deutsch. Bot. Ges. **67**, 205.

Biebl, R., 1947 a: Die Resistenz gegen Zink, Bor und Mangan als Mittel zur Kennzeichnung verschiedener pflanzlicher Plasmasorten. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Abt. I, **155**, 145.

— 1947 b: Über die gegensätzliche Wirkung der Spurenelemente Zink und Bor auf die Blattzellen von *Mnium rostratum.* Öst. Bot. Z. **94**, 61.

— 1949: Vergleichende chemische Reagenzstudien an pflanzlichen Plasmen. Protoplasma **39**, 1.

— 1950 a: Über die Resistenz pflanzlicher Plasmen gegen Vanadium. Protoplasma **39**, 251.

— 1950 b: Zellphysiologische Untersuchungen an Gemüsepflanzen. Biol. gen. **19**, 236.

Biebl, R. und Rossi-Pillhofer, W., 1954: Die Änderung der chemischen Resistenz pflanzlicher Plasmen mit dem Entwicklungszustand. Protoplasma **44**, 113.
Eibl, K., 1939: Studien über das Plasmolyseverhalten der Desmidiaceen-Chromatophoren. Protoplasma **33**, 531.
Höfler, K., 1951: Plasmolyse mit Natriumkarbonat. Protoplasma **40**, 426.
Iljin, W. S., 1935: Das Absterben der Pflanzenzellen in reinen und balancierten Salzlösungen. Protoplasma **24**, 409.
Kaho, H., 1933: Das Verhalten der Pflanzenzellen gegen Schwermetallsalze. Planta **18**, 664.
Kamiya, N., 1939: Zytomorphologische Plasmolysestudien an *Allium*-Epidermen. Protoplasma **32**, 373.
Krebs, I., 1951: Beiträge zur Kenntnis des Desmidiaceen-Protoplasten. (I. Osmotische Werte, II. Plastidenkonsistenz.) Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Abt. I, **160**, 579.
— 1952: Beiträge zur Kenntnis des Desmidiaceen-Protoplasten. (III. Permeabilität für Nichtleiter.) Ebenda **161**, 291.
Loub, W., 1951: Über die Resistenz verschiedener Algen gegen Vitalfarbstoffe. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Abt. I, **160**, 829.
— 1953: Zur Algenflora der Lungauer Moore. Ebenda **162**, 545.
Loub, W., Url, W., Kiermayer, O., Diskus, A. und Hilmbauer, K., 1954: Die Algenzonierung in Mooren des österreichischen Alpengebietes. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Abt. I, **163**, 447.
Prát, S., 1934: Die Erblichkeit der Resistenz gegen Kupfer. Ber. dtsch. Bot. Ges. **52**, 65.
Pribik, E., 1947: Das Resistenzverhalten verschiedener pflanzlicher Plasmen gegenüber einigen Spurenelementen. Dissertation Universität Wien.
Schindler, H., 1943: Protoplasmatod durch Schwermetallsalze. Protoplasma **38**, 225.